



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE E AZIENDALI
“MARCO FANNO”

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA INTERNAZIONALE
L-33 Classe delle lauree in SCIENZE ECONOMICHE

Tesi di laurea

Qualità della vita urbana e traffico stradale: il caso olandese
Urban Life Quality and Road Traffic: the Dutch Case

Relatore

Prof. ANTONIETTI ROBERTO

Laureando
GITTO FEDERICO

Anno Accademico 2015-2016

A mia sorella, e alla sua terza laurea

INDICE

Introduzione.....	5
Capitolo Primo: Origini del traffico urbano.....	7
Capitolo Secondo: Traffico e qualità della vita urbana.....	9
2.1 Le esternalità del traffico in ambito urbano.....	9
2.2 Spazio occupato.....	12
2.3 Risorse pubbliche impegnate.....	14
2.4 Inquinamento acustico.....	16
2.5 Inquinamento ambientale.....	17
2.6 Sicurezza stradale.....	19
Capitolo Terzo: Applicazione di strumenti di mitigazione del traffico.....	21
3.1 Domanda di strumenti di mitigazione.....	21
3.2 Case study: il Sijtwendetunnel e le alterazioni del mercato immobiliare.....	22
3.3 Case study: l’impatto della ZTL romana sulla salute dei residenti.....	28
Conclusioni.....	31
Bibliografia.....	33

INTRODUZIONE

Il traffico veicolare è un fenomeno che da decenni si manifesta vistosamente nei contesti cittadini europei, ormai integrato nelle abitudini della mobilità personale così come nella cultura e nell'identità urbana. Il tema è centrale nel dibattito politico perché il traffico, o meglio la sua congestione, è particolarmente sentito come un limite per la libertà di movimento delle persone e per l'efficacia del sistema dei trasporti a servizio degli operatori economici.

Proprio perché così profondamente radicato nella quotidianità delle persone, il dibattito è sempre stato focalizzato sugli effetti che il traffico genera sugli utenti che ne fanno parte e a sua volta lo generano. Molta attenzione è rivolta a quelle che, in maniera distorta, sono generalmente considerate esternalità del fenomeno, assumendo che i partecipanti al traffico veicolare sono esclusivamente vittime e non generatori del traffico stesso.

L'idea che ha portato a comporre questo elaborato è di contribuire a ridefinire le esternalità dell'uso degli autoveicoli in base alla definizione economica del concetto: esternalità sono gli effetti che vengono subiti da soggetti esterni alle decisioni dei partecipanti al traffico stradale (Tillema, 2009).

Esiste una vasta letteratura scientifica in merito agli effetti negativi prodotti dagli autoveicoli, e una parte di queste ricerche ha trovato spazio nel dibattito pubblico, per essere poi tradotta in numerosi provvedimenti normativi pensati per migliorare la sicurezza e la salute delle persone. La considerazione del pubblico e della politica per gli effetti sui partecipanti al traffico resta però largamente predominante rispetto agli effetti su soggetti terzi,

principalmente perché i primi si esprimono in modi molto più facilmente e velocemente rilevabili. Un'auto bloccata in coda è un problema immediato e quotidiano, una patologia polmonare impiega anni a svilupparsi.

Con questo elaborato ho quindi voluto evidenziare come gli effetti dell'uso su larga scala degli autoveicoli per la mobilità urbana siano estremamente vicini alla determinazione della qualità della vita delle persone, proponendo una rassegna delle varie forme di esternalità negative affrontate in letteratura e scegliendo alcuni casi di studio che hanno dimostrato l'esistenza di una relazione diretta fra il livello di traffico di realtà urbane europee e la qualità della vita percepita dai residenti delle aree oggetto di studio.

Nel Capitolo Primo viene descritta l'origine storica della diffusione del traffico negli ambienti urbani occidentali, come effetto del processo di suburbanizzazione. Viene analizzato l'influsso della mobilità automobilistica sulla nascita dei fenomeni di *urban sprawl*, le loro conseguenze sul disegno del tessuto urbano, e come la diffusione dell'urbanizzazione non regolamentata abbia a sua volta alimentato la domanda di spostamenti tramite autoveicoli privati.

Nel Capitolo Secondo si approfondisce il concetto di esternalità del traffico veicolare come effetto su soggetti esterni al *trade-off* relativo all'uso del veicolo. Viene proposta una rassegna delle principali esternalità negative rilevate dalla ricerca in campo economico, medico, ambientale, ingegneristico, e come queste abbiano un influsso sulla qualità della vita dei residenti, e come vengano condizionate le decisioni operative delle amministrazioni pubbliche. Vengono approfonditi, in particolare, gli effetti del traffico automobilistico sulla distribuzione degli spazi urbani, sull'impegno di risorse collettive, sui fenomeni delle emissioni acustiche ed atmosferiche nell'ambiente, e sulla sicurezza delle persone.

Nel Capitolo Terzo, infine, vengono presentati due casi di studio utili a dimostrare l'esistenza di un vincolo immediato tra effetti del traffico e loro percezione da parte delle persone. Il primo caso, sperimentato nella città olandese de L'Aia, ha evidenziato come la riduzione della densità di traffico in una determinata area abbia generato apprezzabili aumenti del valore delle case, come manifestazione da parte dei residenti della maggiore qualità percepita. E' stato rilevato come l'effetto sia strettamente collegato alla vicinanza della fonte di disturbo, e il secondo caso presentato sostiene l'esistenza di questo legame locale, analizzando gli effetti positivi sulla salute dei residenti conseguenti all'introduzione di una Zona a Traffico Limitato nel comune di Roma con particolare attenzione alla variazione del guadagno in relazione alla distanza.

CAPITOLO PRIMO

Origine del traffico urbano

La definizione teorica di traffico stradale descrive l'insieme di soggetti che condividono la condizione di movimento all'interno di una rete stradale; siano essi pedoni o veicoli. Questa definizione non porta in sé alcuna caratterizzazione, limitandosi a descrivere il fenomeno.

In epoca moderna il concetto semantico si è però evoluto in due precise direzioni. Da un lato è variato il soggetto del fenomeno, prevalentemente ristretto al sottogruppo dei veicoli a motore. Dall'altra parte si è spostata l'identificazione dell'azione dall'atto del muoversi alla semplice occupazione della strada, arrivando quasi ad un ribaltamento del concetto: nella definizione comune il traffico non è più identificato come movimento ma anzi come la sua negazione, associando il termine al fenomeno di congestione dell'infrastruttura stradale, e quindi all'impossibilità per i veicoli di muoversi all'interno della rete (Arnott e Small, 1994).

Questa traslazione linguistica è strettamente legata alla dinamica storica del traffico stradale, che a partire dagli anni '50 ha subito una profonda e rapida evoluzione nei Paesi occidentali, prendendo le mosse dal contesto americano

Il rapido aumento della popolazione nel ventennio 1945-65, unito a fattori economici e culturali, generò una forte migrazione dai centri urbani alle periferie, forti di una grande disponibilità di spazi a prezzi inferiori.

Il fenomeno della suburbanizzazione non era nuovo per l'epoca, e il suo principale sostegno è storicamente stato la disponibilità di trasporti di massa economici (per mantenere il vincolo di convenienza tra distanza e prezzo dei terreni).

La nuova fase di suburbanizzazione fu però per la prima volta sostenuta dalla disponibilità di automobili a prezzi accessibili. Il fenomeno assunse quindi un doppio livello di espansione: non più solo come diffusione dal centro urbano verso specifici poli suburbani (legati alla natura puntuale delle infrastrutture di trasporto pubblico), ma ora anche slegato dalla necessità di restare ancorato a dei nuclei chiaramente definiti. La transizione consentì il passaggio da un'espansione pianificata ad una deregolamentazione virtualmente totale, lo *urban sprawl* (Garcia-López e Muñiz, 2013), con l'automobile come strumento per appianare le distanze e livellare la distribuzione dei servizi sul territorio.

La dinamica dello *urban sprawl* ha però una tendenza ad innescare l'aumento del traffico motorizzato: la disponibilità di spostamenti a basso prezzo riduce le preferenze verso residenze e servizi raggiungibili con mezzi alternativi; di conseguenza aumenta fortemente la quantità di spostamenti per cui è necessaria l'automobile (da qui l'equazione traffico = auto).

La crescita di volume del traffico stradale indotta dalle periferie non strutturate non resta però confinata al loro interno, perché la mancata pianificazione territoriale si traduce nell'assenza di infrastrutture efficienti sia all'interno del territorio suburbano, sia tra periferie e centri.

L'effetto è un progressivo aumento del traffico veicolare interno ai centri urbani, generato dalle periferie. Il territorio urbano e la sua comunità si trovano spesso a subire gli effetti di volumi di traffico la cui utilità viene percepita solo dagli utenti a bordo.

Esiste anche un limite dimensionale all'espansione del sistema. Per quanto slegata dalla definizione di centri periferici, la suburbanizzazione mantiene comunque la dipendenza il centro principale, e i suoi partecipanti non possono sottrarsi ai vincoli di convenienza nel raggiungerlo (Jiang et al., 2007). Lo *urban sprawl* ha un preciso limite dimensionale assoluto legato alle prestazioni dei sistemi di trasporto: oltre un certo raggio la convenienza di occupare nuovi terreni a basso prezzo non riesce più a competere con i costi della mobilità verso il centro del sistema.

La conseguenza di questo limite è che la densità territoriale, in precedenza costante (crescita parallela di insediamenti ed area occupata), comincia a crescere: gli insediamenti continuano ad aumentare, ma l'area non cresce altrettanto. L'effetto sul traffico stradale è l'aumento della sua densità, con il conseguente aumento dei fenomeni di congestione anche al di fuori dei centri cittadini, e peggiorato dalla natura inefficiente delle infrastrutture non pianificate.

CAPITOLO SECONDO

Traffico e qualità della vita urbana

2.1 Le esternalità del traffico in ambito urbano

La progressiva espansione del traffico stradale ha comportato un aumento, nel tempo, della sensibilità ai suoi effetti. Il tema, soprattutto per la sua diffusa manifestazione nella quotidianità delle società sviluppate, ha storicamente attirato una grande attenzione da parte del pubblico, dei *policy maker* e della ricerca nei settori dell'ingegneria, dell'economia e dell'architettura.

In campo economico, in particolare, l'attenzione si è focalizzata sull'analisi delle motivazioni di scelta degli utenti che compongono il traffico; inteso sia come decisioni "interne" al tipo di vettore, sia "esterne", includendo nel confronto anche i parametri di vettori in concorrenza con il veicolo privato.

Già da studi datati è emerso come il sistema della mobilità automobilistica sia tutt'altro che chiuso: le caratteristiche tecnologiche dei veicoli a motore fanno sì che il loro uso implichi la produzione di una serie di effetti esterni ai veicoli stessi.

Pur in misure diverse a seconda del grado di sviluppo tecnologico, l'uso dell'autoveicolo va ad alterare equilibri per lo più estranei rispetto a quelli che influenzano, tramite un feedback di convenienza, le decisioni degli agenti che fruiscono di tale forma di mobilità.

E' un tipico esempio di esternalità, definita come l'effetto prodotto da azioni i cui destinatari non sono partecipi al processo decisionale che le genera. In termini

microeconomici, gli agenti che subiscono l'effetto sono esclusi dalla transazione di mercato che ne determina la produzione.

Gli effetti dell'uso delle automobili, in particolare, si manifestano in una varietà di fenomeni diversi.

Alcuni sono legati al *form factor* stesso dei veicoli stradali, i quali devono avere una dimensione tale da ospitare passeggeri e merci, e di conseguenza non possono scendere sotto determinati valori di volume ed area occupata a terra.

La tecnologia costruttiva, basata sull'impiego di metalli ed altri materiali ad elevata densità, fa tradurre i volumi occupati in masse nell'ordine delle tonnellate, che a loro volta costringono all'uso di infrastrutture realizzate con opportuni materiali e conseguenti richieste manutentive.

Altra conseguenza delle elevate masse in gioco, assieme alla capacità di raggiungere velocità superiori rispetto a vettori non motorizzati, è che gli autoveicoli hanno spazi di arresto nell'ordine delle decine di metri. Ne consegue che, per garantirne il movimento in sicurezza, l'infrastruttura deve essere rigidamente configurata in corridoi dedicati alla marcia degli autoveicoli, con la necessità di lasciare a disposizione ampi spazi non utilizzabili in altri modi.

Non è sempre possibile garantire questa disponibilità di spazi liberi, specie laddove l'infrastruttura è stata adattata successivamente all'introduzione del traffico motorizzato. In aree urbanizzate, in particolare, sono numerosi i potenziali conflitti con altri utenti della strada, come pedoni o ciclisti.

I lunghi spazi di arresto, in aggiunta alla libertà di movimento in due dimensioni ed al controllo lasciato interamente all'operatore a bordo (senza alcun tipo di vincolo esterno), rendono elevato il rischio di collisioni, che possono avvenire contro persone, animali, altri veicoli oppure ostacoli fissi. La conseguenza delle collisioni è che, a causa della massa degli autoveicoli e della relativa elevata energia cinetica, sussiste un elevato potenziale di danno materiale a persone e cose.

Il movimento dei veicoli produce poi conseguenze sull'ambiente fisico e sulla salute delle persone (Nuvolone, Barchielli e Forastiere, 2009), dovute a due principali tipi di emissioni.

Le emissioni acustiche vengono generate dai propulsori, dagli attriti delle parti meccaniche e degli pneumatici, e dalla resistenza aerodinamica.

Più ramificato è il problema delle emissioni nell'atmosfera di sostanze dannose per l'ambiente, prodotte come scarto dei sistemi di propulsione: l'effetto è più diretto nel caso dei motori a combustione interna, che rilasciano in loco le emissioni gassose prodotte; mentre nel

caso di propulsori elettrici il problema si pone in termini diversi, a seconda delle fonti di energia elettrica. In taluni casi il problema delle emissioni resterà presente ma spostato in una diversa sede.

Tutte le esternalità sopra citate sono di tipo negativo, in quanto considerate o percepite come dannose dagli agenti terzi.

La caratteristica comune, per definizione, è che i loro effetti non vanno ad impattare sull'operatore e sulle sue decisioni. Al peso di questi effetti si va poi ad aggiungere una dinamica di autoalimentazione, che ne riduce ancora di più il margine di risposta degli individui colpiti: la maggior parte di questi effetti si manifestano esplicitamente con ritardo rispetto alla produzione dell'esternalità (si pensi allo sviluppo di patologie a causa di emissioni tossiche), o assumono un peso rilevante per le comunità solo oltre una determinata soglia critica (ad esempio, quando si ha un picco statistico di incidentalità in uno scenario di crescita del traffico).

Il pubblico e i *policy maker* si trovano quindi spesso a dover combattere dinamiche non più in divenire ma già radicate, incontrando ulteriori resistenze.

Vi è un dibattito aperto in merito all'esistenza di esternalità positive legate al traffico stradale.

Alcuni considerano in questa categoria gli effetti economici sul vasto comparto industriale legato alla produzione e manutenzione dei veicoli a motore (Sturgeon et al., 2009); ma questa considerazione non risponde correttamente al concetto di esternalità, dato che tutto il valore generato passa attraverso esplicite decisioni di acquisto (o assunzioni di rischio) da parte degli utenti dei veicoli, ricadendo quindi nelle scelte legate agli equilibri di convenienza, completamente interne al sistema.

Per lo stesso motivo è dibattuto l'inserimento tra le esternalità (negative in questo caso) del tempo perso dai conducenti a causa della congestione del traffico, in quanto anche questo è assimilabile ad un costo-opportunità su cui l'operatore ha libertà decisionale; la congestione è causata e allo stesso tempo subita dagli stessi agenti (Small e Gomez-Ibanez, 1998).

2.2 Spazio occupato

Una delle principali esternalità derivanti dall'uso degli autoveicoli è l'elevata domanda di spazi dedicati, in particolare negli ambienti urbani.

La vasta domanda di mobilità stradale nelle società moderne fa sì che la viabilità sia tra i principali *drivers* di modellazione del territorio, con notevoli compromessi nei contesti sviluppati prima della motorizzazione diffusa (Fu et al., 2010).

La domanda di spazi dedicati si esprime su due fronti: domanda di spazi per la sosta, quando i veicoli non sono utilizzati, e domanda di spazi per consentire il movimento senza ostacoli.

La richiesta di spazi di sosta è determinata dalla dimensione dei veicoli e dalla loro numerosità in relazione allo spazio disponibile. Il valore è legato linearmente alla densità residenziale del territorio assumendo una distribuzione media di veicoli pro capite, ma viene alterato dalla disponibilità economica della popolazione, dal livello di congestione della rete e dall'accessibilità a forme alternative di trasporto, che insieme vanno a modificare l'equilibrio di convenienza dell'acquisto e dell'uso di un autoveicolo privato

Il *form factor* più affermato per le autovetture moderne prevede i volumi necessari ad ospitare almeno quattro adulti su due file di posti. Ne deriva una larghezza compresa nella fascia tra i 150 e i 200 cm, mentre per i veicoli da trasporto pesante si arriva a 250 cm; di conseguenza, per ogni autovettura in sosta, è necessaria un'area di diversi m².

La domanda di spazi per la circolazione dei veicoli deriva dalla loro dimensione e dalla necessità di dedicare corridoi liberi in senso longitudinale per mantenere il movimento in velocità (Cascone et al., 2007). La quantità di spazio dedicato ha quindi un valore minimo che corrisponde al dimensionamento di una strada per consentire il passaggio di uno o due veicoli affiancati, a cui poi si aggiungono ulteriori spazi separati per garantire la fruizione dell'infrastruttura ad altre utenze (pedoni, ciclisti, spazi di sosta, arredo urbano) e si mantiene costante fino ad una soglia critica di capacità, da misurarsi in numero di passaggi per unità di tempo. Raggiunta la soglia si hanno fenomeni di congestione, dovuti all'impossibilità di mantenere le distanze di arresto necessarie alle normali velocità di esercizio. La velocità media dell'infrastruttura scende fino ad arrestarsi, e il sistema necessita di ulteriore capacità per

tornare ai livelli di servizio desiderati; nella maggioranza dei casi l'aumento di capacità corrisponde ad un aumento del numero di corsie disponibili.

A volte tuttavia questa soglia viene sovrastimata, e l'infrastruttura viene sovradimensionata rispetto agli spazi effettivamente necessari (Koster e Rietveld, 2011).

Il valore minimo di spazio occupato per la circolazione è quindi costante per valori di traffico compresi tra zero e la soglia critica di saturazione, dopodiché cresce a scaglioni al crescere della domanda di transiti nel dato tratto stradale.

La somma delle due componenti spaziali fa sì che negli ambienti urbani la percentuale di spazio dedicato al traffico motorizzato sia significativa, oscillando tra il 10% dei centri storici europei, il 25% delle loro declinazioni più moderne, e il 50-60% e oltre di alcuni centri americani.

Al di là dei costi diretti delle aree occupate, che verranno approfonditi in seguito, l'allocazione degli spazi dedicati al traffico automobilistico ha diversi impatti meno direttamente misurabili.

L'intero impianto di infrastruttura stradale, inoltre, ha ripercussioni sulla biodiversità dell'ambiente e sulla qualità del paesaggio, con ripercussioni anche sulla qualità di vita delle persone (Nega et al., 2012); si pensi, ad esempio, alla minore disponibilità di spazio per aree dedicate alla socializzazione e a spazi verdi, generalmente ritenuti più gradevoli dalle comunità. L'impatto è anche sulla qualità visiva dell'ambiente urbano, dato che lo spazio dedicato a circolazione e sosta non concede di applicare liberamente forme regolari e strumenti organici di architettura pubblica.

Un noto problema di politica territoriale è che l'allocazione di spazi dedicati al trasporto motorizzato privato è in diretta concorrenza con quella dedicata a forme alternative di mobilità, in primis il trasporto pubblico. La concorrenza tra un elemento che tende a generare congestione ed uno che tende a calmarla innesca il paradosso per cui l'aumento di spazio dedicato al traffico privato rischia di peggiorare il livello di servizio della rete stradale, a causa del mancato apporto positivo da parte del trasporto pubblico. Questo fenomeno è stato anche approfondito nel Paradosso Downs-Thomson (Denant-Boémont e Hammiche, 2009), per quanto focalizzato più sulla concorrenza in termini di tempo di viaggio rispetto a quella sull'allocazione spaziale.

Infine, un effetto indiretto ma molto evidente della presenza diffusa di veicoli motorizzati sulla rete stradale è la necessità di una regolamentazione rigida della circolazione.

Esempi di regolamentazioni del traffico stradale risalgono a ben prima dell'introduzione di veicoli motorizzati, con testimonianze risalenti perfino al governo cesareo, ma i primi codici paragonabili agli esempi moderni furono introdotti a cavallo del diciannovesimo secolo.

Dal punto di vista microeconomico la regolamentazione del traffico stradale non segue dinamiche diverse da quelle di mercato: introduce forme di controllo e tutela a scapito dell'elasticità e, in ultimo ordine, dell'efficienza complessiva del sistema.

Questi limiti non si possono considerare esternalità dal punto di vista degli utenti dei veicoli motorizzati (in quanto parte del *trade-off* di convenienza d'uso), ma lo diventano per gli altri utenti; in particolare pedoni e ciclisti, che in assenza di traffico motorizzato potrebbero sfruttare gli spazi stradali con itinerari più diretti ed efficienti.

Si pensi ad esempio all'allungamento di percorso per raggiungere un attraversamento pedonale prestabilito, o al concetto di "senso unico", che deriva dalla larghezza eccessiva degli autoveicoli rispetto ad un dato tratto stradale ma finisce per essere applicato anche alla circolazione dei ciclisti, i quali vengono limitati nelle loro scelte di itinerario pur avendo preferito veicoli privi di criticità dimensionali.

2.3 Risorse pubbliche impegnate

Una delle classi di esternalità più direttamente misurabile, in termini economici, è rappresentata dai costi sostenuti per la costruzione e la manutenzione delle infrastrutture stradali. Questi costi si dividono in interventi di edilizia, valore dei terreni impegnati, gestione dei sistemi attivi di controllo del traffico.

Gli interventi di costruzione di nuove infrastrutture e manutenzione di quelle esistenti sono i più espliciti nel budget delle amministrazioni a cui sono affidate le reti stradali. I costi delle nuove costruzioni sono determinati da una vasta gamma di fattori intrinseci: in particolare le condizioni più o meno favorevoli del territorio (orografia, urbanizzazione) e il volume di traffico di target, che fa crescere linearmente la dimensione e la complessità delle costruzioni.

I costi di manutenzione sono parzialmente legati agli stessi fattori, ma restano principalmente legati ai volumi serviti, in termini di quantità di veicoli transitati e composizione del traffico (un veicolo pesante incide per un fattore fino a 10^4 volte superiore ad un'autovettura).

Il valore dei terreni impegnati è effettivamente rilevante solo nel contesto di espansioni della rete o pesanti revisioni del tessuto urbano. E' tecnicamente possibile stabilire un valore di mercato per le aree già occupate, ma in contesti urbani radicati questo valore è sostanzialmente teorico: la conformazione geometrica delle strade rende difficile configurarne gli spazi per installare costruzioni di tipo diverso. Di fatto si tratta di *sunk costs*.

Il valore di mercato di un tratto stradale diventa però significativo all'interno della valutazione del valore complessivo dell'area servita. Per esempio la conversione di un tratto di strada dall'uso veicolare a quello pedonale può spostare sensibilmente il valore immobiliare di un complesso commerciale. Si tratta comunque di valutazioni non applicabili universalmente, in quanto dipendente da condizioni non intrinseche alla strada stessa; di conseguenza si rende necessaria un'analisi specifica caso per caso (Nuvolone, Barchielli e Forastiere, 2009).

La gestione attiva del traffico spazia dal controllo diretto da parte di operatori (generalmente tramite organismi con funzioni di Polizia) all'applicazione di strumenti tecnologici più o meno avanzati, da un semplice impianto semaforico fino all'impiego di reti neurali predittive, inclusi i sistemi ITS – *Intelligent Transportation Systems*, pensati per centralizzare il controllo di reti infrastrutturali vaste.

Ricadono in questa categoria i costi di pianificazione dell'uso delle reti, che inglobano nei costi di progetto gli strumenti fissi di controllo della circolazione (Qi et al., 2014).

Il finanziamento di questi costi può essere in capo ad entità pubbliche e private. Nel secondo caso gli enti proprietari si finanziano tramite pedaggi esatti agli utenti in cambio dell'uso dell'infrastruttura, e quindi non si ricade nel novero delle esternalità.

Per le reti di proprietà pubblica l'esternalità si manifesta tramite l'azione politica: gli amministratori decidono l'allocazione di un budget ricavato dalla fiscalità generale, destinando ad un gruppo limitato risorse generate da tutta la collettività.

E' un tipico problema di *free riding*, che si presenta in tutti i casi di infrastrutture sussidiate tramite spesa pubblica. Il problema si manifesta sia come *free riding* tra i membri della comunità, sia in forma politica, quando l'amministratore è incentivato ad assegnare maggiori risorse al budget stradale in cambio del consenso del sottogruppo degli utenti dei veicoli privati, a scapito delle decisioni ottimali per la collettività.

Come per l'allocazione degli spazi, anche per l'allocazione dei finanziamenti si pone il problema della competizione con il trasporto pubblico urbano (quasi dovunque basato sul sussidio pubblico). Anche in questo caso si innesca un paradosso per cui l'allocazione di risorse alla mobilità privata rischia di ridurre la prestazione complessiva, attraverso la riduzione del finanziamento al trasporto pubblico e alla sua perdita di attrattività, con aumento degli spostamenti in cui è preferita l'automobile.

Un ulteriore aggravio di spesa pubblica, derivante da alti volumi di traffico privato in ambiente urbano, è che i veicoli del trasporto pubblico rallentati dalla congestione stradale registrano una riduzione drastica di utilità generata per unità di tempo; per mantenere costante il livello di servizio è necessario impegnare un numero maggiore di veicoli.

2.4 Inquinamento acustico

Uno dei sottoprodotti del movimento degli autoveicoli è la produzione di emissioni sonore; esse impattano in maniera sensibile sulle condizioni di salute e benessere fisico e psicologico delle persone, interferendo con le loro attività, modificandone il comportamento e disturbandone il sonno (Stansfeld e Matheson, 2003).

A differenza della dimensione occupata dalle infrastrutture di circolazione, nel caso del rumore non c'è una produzione minima fissa dell'esternalità: in assenza di traffico l'effetto si azzerava immediatamente e non ne restano tracce a posteriori.

L'ambiente urbano enfatizza la portata dell'effetto, per diverse cause: la densità di veicoli in movimento, il riverbero dei suoni tra gli edifici vicini (effetto canyon), i frequenti arresti e le ripartenze del flusso di traffico.

L'inquinamento acustico prodotto dal traffico stradale può avere diverse fonti (To et al., 2002).

Le fonti primarie di generazione del rumore negli automezzi sono il funzionamento del propulsore, l'attrito degli pneumatici col fondo stradale e la resistenza aerodinamica del veicolo. A velocità cittadine l'ultimo punto è trascurabile.

Il livello di rumore dei motori a combustione interna dipende strettamente dal regime di rotazione, non scende sotto un valore minimo e presenta variazioni incostanti durante la fase di accelerazione del veicolo.

Il rumore di rotolamento degli pneumatici dipende strettamente dalla velocità fino ad annullarsi del tutto da fermo; identico *output* presentano i motori elettrici.

Le emissioni complessive di un singolo autoveicolo in fase di partenza da fermo seguono un *pattern* altalenante, con una iniziale prevalenza del rumore del propulsore e un progressivo predominio del rumore di rotolamento all'aumentare della velocità.

Il movimento - mai perfettamente simultaneo - di diversi veicoli nello stesso flusso di traffico porta ad un aumento generale del livello di rumore, e con un *output* complessivo estremamente irregolare, come sovrapposizione non sincronizzata degli andamenti già incostanti dei singoli elementi.

Per trattare in maniera semplificata i dati di analisi del rumore stradale si utilizza il concetto di *Leq* – Livello di suono equivalente, che sintetizza in un singolo dato in decibel la media dei suoni registrati in una determinata finestra temporale.

La produzione di rumore ha un impatto diretto sulla salute umana: l'OMS stima in 120 dB la soglia del dolore, e stabilisce il rischio di danni uditivi permanenti con un'esposizione di 15 minuti a 100 dB o 8 ore a 85 dB (valore limite indicato per luoghi di lavoro) (Stansfeld e Matheson, 2003).

Il livello di rumore prodotto dalle strade urbane si colloca generalmente nell'ordine dei 70-90 dB, con picchi fino a 100, esponendo quindi i residenti al rischio di danni.

I costi sanitari legati all'inquinamento acustico stradale nell'Unione Europea sono stimati in circa 40 miliardi €/anno (den Boer e Schroten, 2007), tenendo conto solo di valori superiori a 55 dB.

A questi valori vanno aggiunte le diminuzioni di benessere percepito, meno misurabili in un contesto sanitario ma valutabili in termini di prezzo che i soggetti sono disposti a pagare per evitare l'esposizione al rumore, tramite indicatori misurabili come i costi delle case (Kopsch, 2016).

2.5 Inquinamento ambientale

I mezzi di trasporto contribuiscono al 13% delle emissioni di gas serra nell'atmosfera (Anderson e Sallee, 2016).

L'emissione di sostanze nocive in atmosfera è legata alle caratteristiche di funzionamento dei motori a combustione interna e agli attriti meccanici e pneumatici che producono polveri (Kauhaniemi et al., 2011). La combustione di idrocarburi ha come sottoprodotti diverse sostanze largamente riconosciute, in determinate concentrazioni critiche, come pericolose per la salute umana e degli ecosistemi naturali (Pope e Dockery, 2006).

La densità di veicoli in ambiente urbano e il minore ricambio atmosferico aumentano l'esposizione delle persone alle elevate concentrazioni (Int Panis et al., 2004).

E' dibattuta l'esistenza delle medesime esternalità nel caso di autoveicoli mossi esclusivamente da motori elettrici. Il vantaggio certo è che vengono completamente eliminate le emissioni locali, risolvendo il problema delle concentrazioni in ambiente urbano. Non è altrettanto immediato tracciare un bilancio energetico complessivo: bisogna tenere in conto le perdite di efficienza della rete di trasporto e stoccaggio dell'energia elettrica, così come il livello di emissioni presso il punto di produzione (Jochem, Doll e Fichtner, 2016).

Diversi Paesi adottano sistemi di imposte pigouviane - vale a dire meccanismi di disincentivo a produrre inquinamento - allo scopo di convertire le esternalità ambientali in costi espliciti a carico degli operatori dei veicoli a motore (Anderson e Sallee, 2016). In senso stretto, questo meccanismo porterebbe a non poter più collocare le emissioni inquinanti tra le esternalità del traffico, in quanto spostate all'interno del *trade-off* dell'utente.

Questa posizione è però contestata sulla base del fatto che il meccanismo pigouviano non ha controllo sulla quantità totale di emissioni (sposta la curva di convenienza dei singoli, ma non la loro numerosità), oltre al fatto che dal punto di vista pratico la compensazione economica per le emissioni non impedisce fisicamente che queste continuino ad essere prodotte (Carlton e Loury, 1980). Più che l'eliminazione delle esternalità negative, il meccanismo ha come effetto la produzione di esternalità positive diverse (i benefici per la fiscalità generale e gli investimenti per l'ambiente) in parallelo al mantenimento delle esternalità negative esistenti.

Una ulteriore fonte di danno ambientale deriva dall'area dedicata alla circolazione e alla sosta di veicoli, che deve essere coperta con materiali impermeabili, che alterano il naturale drenaggio del terreno e generano problemi legati al sollevamento di polveri inquinanti (Berger e Denby, 2011).

Interventi adottabili a livello locale possono portare numerosi benefici nel miglioramento della qualità dell'aria, con conseguenti ripercussioni positive sulla salute dei cittadini, in

particolare rispetto alla diminuzione di patologie respiratorie e cardiovascolari (Nuvolone, Barchielli e Forastiere, 2009). Nonostante tale problema sia considerato preoccupante e si dibattano i metodi per arginarlo (Silveira et al., 2016), gli studi di efficacia sulla valutazione delle migliori *policy* di intervento per limitare i danni causati dall'inquinamento atmosferico sono ancora pochi (Boogaard et al., 2012).

2.6 Sicurezza stradale

Il movimento dei veicoli stradali è caratterizzato da una guida non vincolata (movimento in due gradi di libertà) e non strumentale, con il controllo lasciato interamente alle valutazioni dell'operatore.

Le masse e le velocità raggiunte danno luogo ad elevati livelli di energia cinetica, che si traducono in un elevato potenziale di danno a seguito di urti con persone, animali ed oggetti. Tale tipo di esternalità risulta incrementare in modo sostanziale all'aumentare del flusso di traffico (Dickerson, Peirson e Vickerman, 2000); alcuni studi rilevano come il numero di incidenti aumenti sensibilmente nei periodi di maggiore benessere economico, durante i quali l'auto viene usata più frequentemente e da più persone (Rodríguez-Lopez et al., 2016).

L'esternalità più forte sostenuta dalla collettività è legata ai danni alle persone, con costi elevati per la gestione delle emergenze e per il carico di lavoro sul settore sanitario. I danni subiti dagli utenti dei veicoli si potrebbero configurare come parte del *trade-off* legato all'uso (sotto forma di un'assunzione di rischio); ma è standard affermato che gli utenti ricevano comunque assistenza da parte dei sistemi sanitari, riportando questo tipo di danno nella categoria delle esternalità.

Gli strumenti utilizzati per valutare i costi legati a morte e disabilità degli individui sono indicatori come DALYs (*disability-adjusted life years*), YLL (*years of life lost*) e YLD (*years lived with disabilities*) (Lin, 2016).

Oltre ai costi sanitari vanno aggiunti i costi indiretti legati all'esclusione temporanea o permanente dalla forza lavoro, così come l'indisponibilità dei fattori di produzione nel caso di danno a fattori produttivi, nonché i costi personali e sociali relativi ad eventuali familiari *caregiver*.

CAPITOLO TERZO

Applicazione di strumenti di mitigazione del traffico

3.1 Domanda di strumenti di mitigazione

La percezione delle esternalità negative del traffico urbano da parte dei soggetti coinvolti non è facilmente definibile. La reazione al fenomeno si manifesta tramite due diverse spinte: la domanda di riduzione del fenomeno e la tendenza ad allontanarsene.

La prima è un fenomeno meramente politico: l'elettorato dimostra di incentivare azioni amministrative di riduzione del traffico tramite il consenso elettorale.

La tendenza ad allontanarsi da situazioni sgradite si manifesta invece in termini più economici: i soggetti assegnano un minor valore ad un determinato luogo e si riduce la loro propensione a pagare per risiedervi, abbassando il valore delle proprietà immobiliari. Un altro parametro che registra questa variazione è l'abbassamento degli indici di ricchezza medi dei residenti: i soggetti con maggiore disponibilità di ricchezza hanno maggiore libertà di scelta, e tendono a lasciare l'area in misura maggiore rispetto ai soggetti più vincolati.

La tendenza è valida anche per il mercato immobiliare non residenziale: le attività commerciali in aree meno attraenti vengono scelte con minore frequenza, innescando l'incentivo delle aziende a spostarsi; e anche il mercato del lavoro registra una minore domanda di impiego in attività in aree meno apprezzate, per quanto questo effetto sia di difficile rilevazione tra gli altri fattori che muovono il mercato.

3.2 Case study: il Sijtwendetunnel e le alterazioni del mercato immobiliare

Il caso del Sijtwendetunnel è utile a dimostrare l'esistenza di esternalità negative generate dal traffico urbano. Nello specifico, la diminuzione dei volumi di traffico di attraversamento in un'area residenziale ha fatto registrare il miglioramento di alcuni indicatori di qualità della vita urbana, tra cui i prezzi delle unità abitative.

Il Sijtwendetunnel è un complesso di gallerie stradali lungo l'attuale anello tangenziale N14 de L'Aia, terza città per popolazione dei Paesi Bassi. La sua costruzione ha permesso l'apertura, nel 2003, di un tratto di 3,2 km dotato di carreggiate separate e due corsie per senso di marcia, attraverso il quartiere Mariahoeve e i comuni confinanti Voorburg e Leidschendam (Van der Schot et al., 2003).

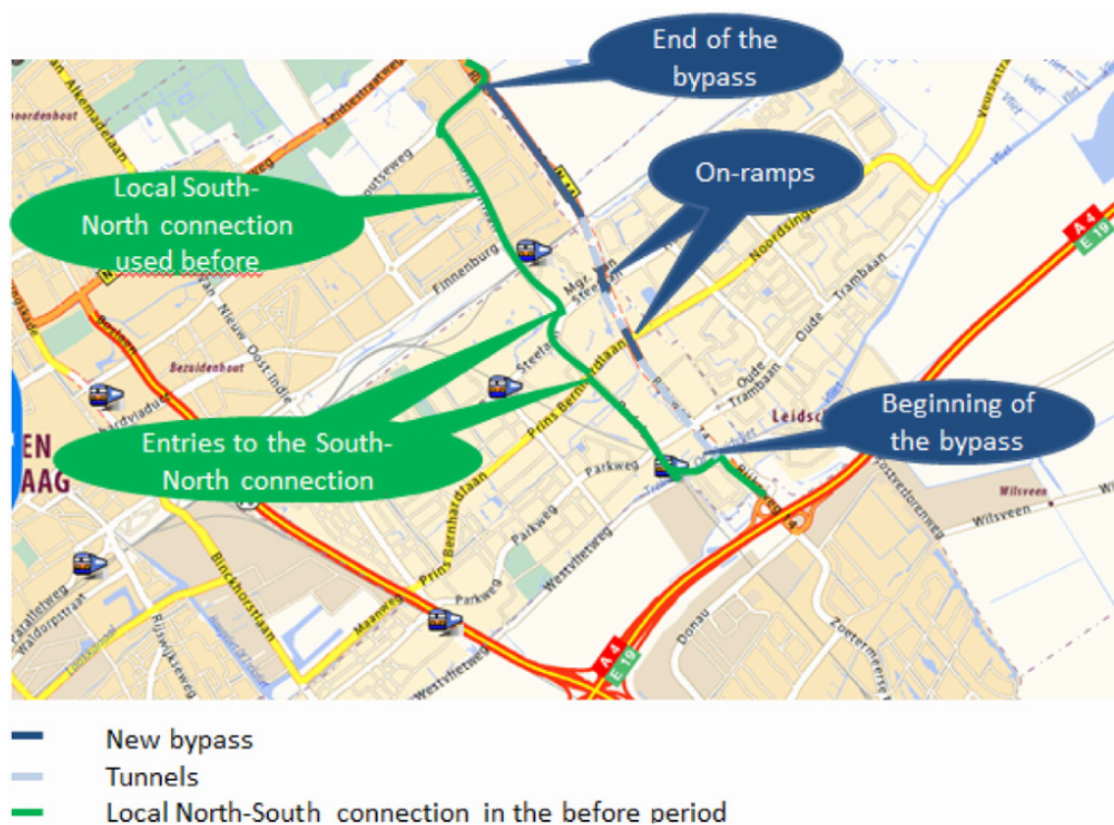
L'intervento fu ideato già prima della Seconda Guerra Mondiale. Nel 1956 il Ministero nazionale dei Trasporti identificò il tracciato di progetto, vincolando l'uso dei relativi terreni. Il progetto originario prevedeva la costruzione della strada in superficie e in un'area all'epoca non urbanizzata.

Per decenni la costruzione fu ostacolata dalle amministrazioni locali, nel timore di un aumento generalizzato del traffico nell'area; nel frattempo la crescita delle aree residenziali arrivò ai limiti dei terreni vincolati.

La situazione politica fu sbloccata solo a fine anni '90, raggiungendo un accordo tra i comuni e il ministero federale e concordando l'avvio della costruzione in cambio dell'interramento del tracciato stradale nei territori dei due comuni, e includendo l'espansione della rete tranviaria locale e la pianificazione di ulteriori espansioni edilizie sui terreni in precedenza vincolati.

E' opportuno precisare che l'intervento era pensato per migliorare l'accessibilità di aree dell'Aia lontane dalla rete autostradale e per deviare il traffico gravante su assi di penetrazione urbana in quartieri più centrali; la deviazione del traffico di attraversamento interno all'area di intervento non era tra gli obiettivi primari.

Per questo motivo è complesso stabilire una correlazione diretta tra l'investimento deliberato e gli effetti per i sobborghi interessati; ma, al netto delle motivazioni che hanno portato alla costruzione, il caso resta utile per verificare la correlazione tra le variazioni di traffico e gli effetti sui quartieri coinvolti.

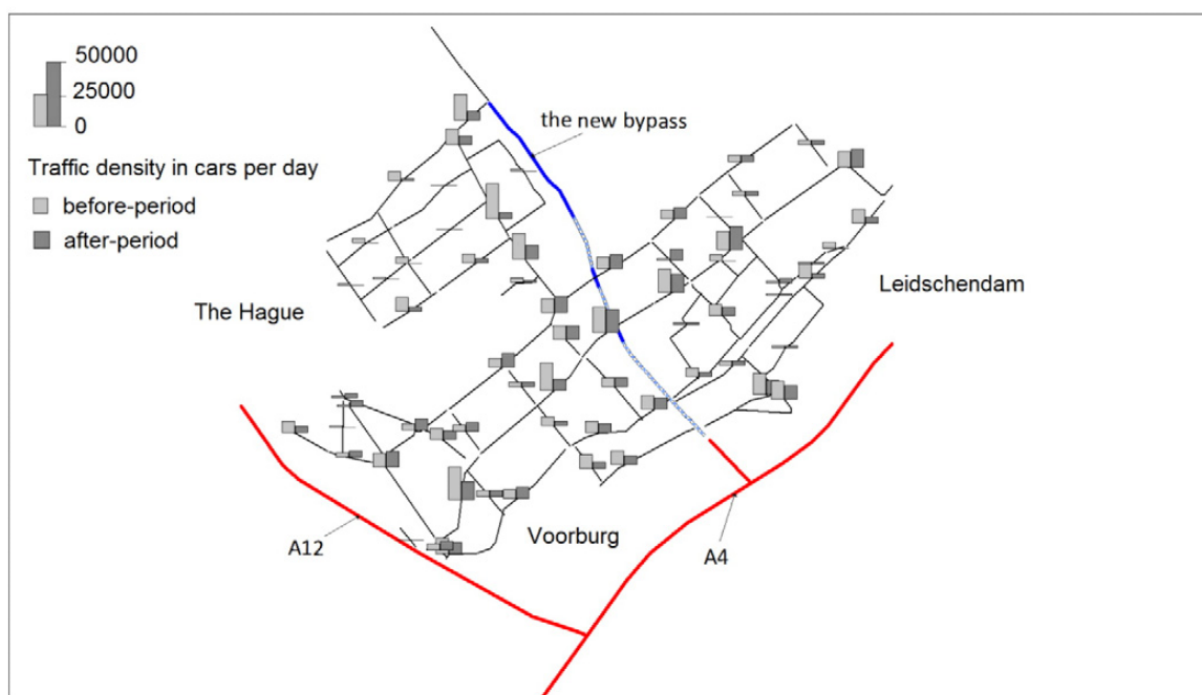


Il Sijtwendetunnel, segnato in blu, è composto di tre tunnel separati, intervallati da tratti allo scoperto in cui la strada N14 incrocia la viabilità locale preesistente. Prima della costruzione il traffico di attraversamento seguiva principalmente l'itinerario segnato in verde (Ossokina e Verweij, 2015)

Lo studio di Ossokina e Verweij (2015) ha utilizzato rilevazioni di traffico effettuate nel 1999 (precedenti alla costruzione del Sijtwendetunnel) e nel 2006, con flussi di traffico a regime da tre anni.

Prendendo in esame il reticolo delle strade precedentemente impiegate dal traffico di attraversamento, le rilevazioni hanno evidenziato una diminuzione media di circa il 50%, da 8.300 a 4.200 passaggi per giorno in seguito all'apertura del tunnel; tuttavia questo dato include il numero di passaggi in tutti gli 80 segmenti del reticolo, inclusi quelli che in precedenza non facevano parte di un itinerario desiderato dal traffico di attraversamento. La maggior parte dei segmenti di attraversamento partiva da valori nell'ordine dei 15-20.000 passaggi/giorno, con picchi oltre i 30.000 nel quartiere Mariahoeve. Per i segmenti con i più alti valori assoluti la pura variazione ha raggiunto le 15.000 unità, per altri il volume si è ridotto fino al 90%.

Una parte dei segmenti ha visto invece un aumento del traffico fino a punte di 1.300 passaggi/giorno aggiuntivi, principalmente su itinerari ortogonali ed afferenti al bypass, diventando le dorsali interne ai quartieri (prima inesistenti).



I volumi di traffico giornaliero gravanti sul reticolo delle strade locali nel 1999 e nel 2006, prima e dopo l'apertura del bypass (Ossokina e Verweij, 2015)

La variazione complessiva ha un peso ancora superiore considerando che è avvenuta in controtendenza rispetto alla media nazionale, che ha visto un aumento di oltre il 7% dell'indice di densità del traffico tra i due anni di riferimento per le rilevazioni. Questa tendenza contribuisce anche a spiegare gli aumenti localizzati dei volumi delle nuove dorsali interne.

Alla variazione positiva nazionale si deve aggiungere l'effetto locale dell'aumento di movimenti con origine/destinazione nelle aree interessate, dovuto alla diminuzione dei tempi di accesso alla rete nazionale ed al conseguente aumento di attrattività degli spostamenti in automobile. Questo effetto non appare però essere significativamente corroborato dai dati. Ci si attenderebbe un aumento di domanda di movimenti marcato nelle zone più lontane dalla rete autostradale, che in precedenza erano le più penalizzate a causa dei tempi assoluti più alti per uscire dal reticolo e che quindi nel nuovo scenario hanno ottenuto i più alti guadagni marginali di tempo. I dati rilevati mostrano invece andamenti costanti o in diminuzione anche per i segmenti minori delle zone più lontane (gli unici in cui i volumi registrati erano fortemente dipendenti dai movimenti locali anziché dai flussi di transito).

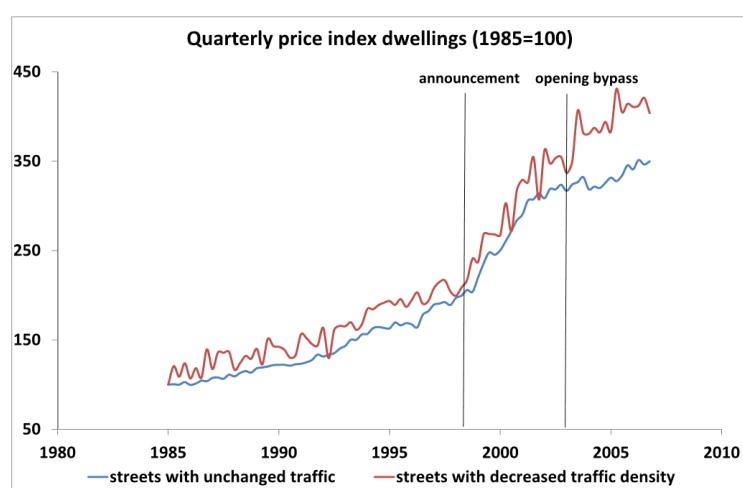
Ossokina e Verweij (2015) rilevano che il guadagno marginale per i movimenti con origini o destinazioni interne al quartiere è comunque poco significativo a causa dello scarso scarto assoluto di tempo, date le distanze esigue. La neutralità di questo effetto contribuisce alla

robustezza dei dati raccolti per i volumi di transito, che sono quelli più significativi per la produzione di esternalità.

Il secondo campo d'indagine dello studio è stato il mercato immobiliare, utilizzando come parametro il prezzo medio delle transazioni riguardanti unità abitative.

Anche per questo parametro è importante condurre una verifica di consistenza tra le situazioni iniziale e finale, in quanto molti altri parametri possono influenzare i prezzi medi delle residenze in un quartiere. In primis la composizione del pool di acquirenti delle unità abitative: reddito medio dei residenti, età, presenza di famiglie con bambini. Inoltre un *bias* rilevante poteva essere introdotto dalla variazione di offerta, dato che alla costruzione del *bypass* stradale è stato associato un nuovo sviluppo immobiliare principalmente residenziale.

Le statistiche dei due periodi di riferimento evidenziano però che la composizione del campione dei residenti è rimasta sostanzialmente immutata, e che la dimensione del mercato in termini di unità disponibili è variata di circa il 2,4% pur senza portare cambiamenti apprezzabili nella composizione dell'offerta (la distribuzione delle destinazioni d'uso non si è spostata). E' importante sottolineare che i dati analizzati riguardano solo le costruzioni presenti in entrambi i periodi considerati: l'obiettivo era di studiare l'impatto delle esternalità sul quartiere, e a questo scopo è necessaria l'esclusione dalle medie statistiche dei valori associati alle nuove costruzioni. In sostanza non importa l'impatto delle nuove unità sul mercato totale dell'area – incluse le nuove unità stesse, ma importa solo l'impatto (o meglio, la sua assenza) sul mercato preesistente; e questa neutralità è confermata.



L'andamento dei prezzi delle unità abitative nelle strade che hanno goduto di una riduzione del traffico grazie al Sijtwendetunnel, in rosso, rispetto ad un campione di controllo, in blu. E' evidente lo scostamento a partire dal 2003 (Ossokina e Verweij, 2015)

I dati disponibili sono sufficientemente disaggregati da permettere la classificazione delle unità non solo sui segmenti del reticolo, ma anche in classi di distanza dai singoli segmenti. Questo livello di dettaglio ha permesso di andare oltre la semplice correlazione tra valore delle unità e densità del traffico, arrivando a quantificare i prezzi come funzione della distanza da un dato volume di traffico stradale.

I risultati ottenuti evidenziano l'effettiva dipendenza del valore immobiliare dalla densità del traffico e dalla distanza dalla fonte di produzione delle esternalità percepita. Una volta considerato l'aggiustamento del livello generale dei prezzi tra i due periodi considerati, la correlazione ha individuato un aumento medio dei prezzi pari a 1,4% a fronte di un dimezzamento della densità di traffico. Il fenomeno è confermato anche in senso opposto: le residenze che hanno visto un aumento del traffico sul relativo segmento stradale hanno registrato un aumento di prezzo coerente con la funzione confermata dai casi di diminuzioni.

Il Sijtwendetunnel è in realtà un complesso di tre diversi tratti stradali interrati, alternati ad altri in superficie corrispondenti alle intersezioni con le strade preesistenti. Il passaggio da galleria a superficie avviene in spazi relativamente ristretti, e questo consente di confrontare la risposta dei prezzi ai due output di traffico pur mantenendo un campione di area ridotta (favorendo la pulizia del dato dalla varietà di campioni più vasti).

Variable	Dwellings with a fall in traffic density		Dwellings with a rise in traffic density		Non-affected dwellings	
	Before	After	Before	After	Before	After
<i>Housing price</i> (×1000 euro)	159	200	189	224	168	204
<i>Traffic density</i> (×1000 cars/day)	8.3	4.2	5.6	6.9	n/a	n/a
# observations	799	415	281	150	4409	2686

^a The before period is reported in prices of 2000, the after period is reported in prices of 2004.

I valori medi dei prezzi e della densità di traffico registrati prima e dopo l'apertura del *bypass*, per le unità che hanno registrato una diminuzione del traffico, un suo aumento, e per quelle non interessate da alterazioni del fenomeno (Ossokina e Verweij, 2015)

Ossokina e Verweij hanno sintetizzato la dinamica dei prezzi nella formula:

$$\ln P_{ijt} = \alpha + \beta \ln D_{jt} + f_j + \gamma_1 X_{it} + \gamma_2 Y_t + \gamma_3 I_{neighb} Y_t + \varepsilon_{ijt}$$

P_{ijt} rappresenta il prezzo dell'unità abitativa i situata nella subzona j nell'anno t , D_{jt} è la densità di traffico nella subzona j ; gli ulteriori parametri sono correttivi legati alle

caratteristiche della subzona, della singola unità (numero di stanze, dimensione) e del quartiere, per normalizzare le differenze locali nella formazione dei prezzi.

La magnitudo dell'effetto varia al variare della distanza dai segmenti stradali associati come fonte di disturbo. Ossokina e Verweij (2015) hanno identificato tre classi di distanza dalla sede stradale: le unità abitative direttamente a ridosso della strada (distanza nulla), quelle comprese in una prima fascia fino a 20 metri di distanza, e quelle a distanza superiore. Il valore di 20 metri dalla sede stradale è stato individuato come massimo raggio d'azione degli effetti del traffico, dato che nell'ultima fascia non sono più riscontrabili incidenze apprezzabili del fenomeno.

Il confronto tra le prime due classi ha invece evidenziato che le reazioni al disturbo del traffico non sono lineari: l'andamento dei prezzi delle unità della classe "0-20 metri" è risultato essere 1,5 volte meno sensibile alle variazioni di densità del traffico, rispetto a quello della classe "0 metri".

Questo dato, in particolare, conferma l'esistenza di una funzione che lega la densità del traffico in un'area urbana ai prezzi delle sue unità abitative.

Per poter classificare con sicurezza gli effetti del traffico come esternalità negative occorre però stabilire una correlazione tra i prezzi delle case e il livello di qualità della vita dei residenti, un legame non approfondito in modo dettagliato dallo studio olandese.

Questo legame può essere spiegato tramite la propensione marginale degli acquirenti a spendere di più (o quella dei venditori a guadagnare meno) in cambio di una migliore qualità di vita percepita (Harrison e Rubinfeld, 1978).

La quantificazione della qualità della vita, dal punto di vista residenziale, è un tema affrontato da numerosi studi.

Winters (2013) pone il problema non in termini di propensione alla spesa, ma di propensione ad accettare un diverso reddito: rileva che gli individui ottengono utilità dalla qualità dell'area di residenza e sono disposti ad accettare salari reali inferiori in cambio di una maggiore qualità percepita.

Streimikienė (2015), nel ricercare indicatori di qualità abitativa, individua le condizioni dell'area di residenza come una dimensione rilevante per la qualità della vita. Tra gli indicatori che compongono questa dimensione vengono riportati come significativi il rumore proveniente dalle strade e il livello di inquinamento ambientale, direttamente riconducibili al traffico stradale.

Van Praag e Baarsma (2004) analizzano l'impatto del rumore del traffico aeroportuale in termini monetari, nell'area metropolitana di Amsterdam. Rilevano come l'esistenza di un'esternalità si rifletta effettivamente sul valore degli immobili, ma sottolineano che la variazione dei prezzi non assorbe perfettamente il costo materiale dell'esternalità a causa dell'influenza di costi transazionali intangibili (come ad esempio l'attaccamento emotivo al luogo di residenza o il disincentivo rappresentato dalle operazioni di trasloco).

3.3 Case study: l'impatto della ZTL romana sulla salute dei residenti

Il caso dell'introduzione di una Zona a Traffico Limitato nel comune di Roma è utile ad identificare con precisione l'estensione degli effetti negativi dovuti al traffico, dimostrandone la concentrazione a livello locale e quindi la magnitudo delle esternalità della mobilità privata in un contesto urbano.

Le Zone a Traffico Limitato (ZTL) sono strumenti amministrativi di moderazione del volume di traffico e del relativo inquinamento in una determinata area cittadina, attraverso l'individuazione di categorie selezionate di veicoli autorizzati all'accesso in date fasce orarie. Il rispetto del provvedimento viene sostenuto tramite sanzioni elevate ai trasgressori, in molti casi tramite sistemi automatizzati di controllo dei varchi di accesso.

Dopo una prima sperimentazione da parte dell'amministrazione comunale di Bologna, a fine anni '90, i primi Comuni a mettere a regime il sistema furono Mantova e Roma.

Roma, in particolare, definì ed attivò la prima parte del provvedimento nel 2001. L'amministrazione cittadina implementò una ripartizione del territorio comunale in cinque fasce concentriche, secondo classi di densità residenziale e di attività commerciali e seguendo confini infrastrutturali consolidati.

Il provvedimento di limitazione degli accessi fu implementato inizialmente nella prima fascia, corrispondente al centro storico, su un'area di 6 km², che all'epoca si caratterizzava già per una ripartizione modale meno sbilanciata a favore dell'utilizzo del mezzo privato (37% degli spostamenti tramite auto e motocicli, a fronte di una media cittadina attestata al 60%). Le restrizioni furono pensate per evitare l'accesso durante il giorno ai veicoli provenienti da aree esterne, con una deroga solo per le attività commerciali svolte internamente alla zona.

La seconda fase di intervento coinvolse la seconda fascia, definita come "anello ferroviario", ma con criteri di selezione diversi: in questo caso ammettendo solo veicoli

rispondenti a normative sulle emissioni più restrittive; inizialmente solo nella fascia diurna, e dal 2008 estesa a tutto l'arco della giornata.

L'obiettivo delle limitazioni pensate per la prima fascia ricade tra gli interventi di moderazione dei volumi di traffico in transito, andando a bloccare tutti i movimenti di attraversamento e la possibilità di raggiungere l'area centrale dall'esterno con l'automobile. In questo senso il provvedimento intendeva ridurre tutte le esternalità dovute alla presenza di traffico.

L'obiettivo per la seconda fascia è invece più specificamente mirato alla riduzione delle emissioni inquinanti, e può essere visto come un intervento di mitigazione delle conseguenze del traffico; non poneva alcun tetto massimo al numero dei veicoli e non era prevista alcuna selezione degli accessi in base all'origine o destinazione dell'utenza.

Lo studio di Cesaroni et al. (2012) ha preso in esame il caso romano per valutare empiricamente l'efficacia degli interventi di limitazione del traffico su qualità dell'aria e salute dei residenti; un ulteriore obiettivo dello studio è valutare l'impatto degli interventi sulle diverse classi di popolazione suddivise tramite l'indicatore di posizione socioeconomica (SEP).

Lo studio è basato sul confronto dei dati di traffico raccolti nel 2001 e nel 2005, caratterizzati per volumi in transito sui segmenti della rete e per la categoria di omologazione delle emissioni atmosferiche.

I dati raccolti, sulla media del comune, non hanno evidenziato scostamenti rispetto alla tendenza regionale in quanto a numero di veicoli circolanti. Molto più significativo l'effettivo cambiamento nella composizione del parco circolante, con un abbassamento della media di età dei veicoli e classi di emissione superiore rispetto al parametro di controllo.

Il livello di emissioni equivalenti è stato poi elaborato tramite un modello in uso presso la European Environment Agency. I valori delle emissioni per veicolo sono quindi stati interpolati con i dati sui volumi di traffico per segmento, ottenendo una mappatura dettagliata dei livelli di concentrazione delle sostanze nocive (NO_2 e PM_{10}) per ogni segmento stradale.

I modelli utilizzati per valutare l'impatto sui residenti assumono una relazione lineare tra concentrazione di sostanze nocive ed effetti sulla salute delle persone, misurati in termini di YLG – *Years of Life Gained* (anni-vita guadagnati).

	2001		2005 without policy		Difference with/without policy 2005 optimistic scenario		Difference with/without policy 2005 pessimistic scenario		YLG per 100 000 during 15 years optimistic scenario		YLG per 100 000 during 15 years pessimistic scenario	
	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀
By circular zone												
Outside main ring	12.86	3.47	9.69	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0
Main ring	22.76	7.51	17.3	6.07	0	0	0	0	0	0	0	0
Green strip	26.76	9.85	20.6	7.69	0	0	0	0	0	0	0	0
Railway ring	23.49	9.07	17.84	7.01	-3.27	-0.54	-2.42	-0.45	4109	671	3030	559
Limited traffic zone	23.52	9.13	17.98	7.12	-4.02	-0.68	-2.97	-0.57	5084	858	3731	693

I livelli di emissioni di NO₂ e PM₁₀ nei cinque anelli urbani, con un confronto tra lo scenario pre-intervento (2001), una proiezione successiva senza intervento e due scenari post-intervento diversificati in base all'effettivo cambiamento di composizione del parco veicoli.

Nelle colonne a destra, le conseguenze in termini di anni-vita guadagnati nei due scenari (Cesaroni et al., 2012)

Il livello di dettaglio dei livelli di concentrazione ha permesso di derivare alcune conclusioni interessanti per la valutazione delle esternalità in contesti urbani. Lo studio si è potuto spingere oltre la generica identificazione di una correlazione tra volume di traffico e salute dei residenti, andando ad approfondire l'impatto sulle specifiche zone di intervento (anziché limitarsi a valutazioni sulla molto più vasta intera area cittadina).

Scendendo ancora più in dettaglio, la mappatura fine delle residenze (fino al singolo indirizzo) ha consentito di studiare gli effetti sui singoli soggetti a seconda della distanza dai principali assi di traffico.

Grazie a questo livello di dettaglio sono state riscontrate significative differenze di guadagno medio tra i residenti della prima e della seconda fascia di intervento: rispettivamente 19 e 15 giorni-vita guadagnati nei primi 4 anni di applicazione dei provvedimenti, mentre a livello comunale l'impatto è stato molto meno significativo (3,4 giorni-vita per i residenti più esposti, prossimi agli assi principali). Cesaroni sottolinea però che il dato per il resto della città potrebbe essere sottostimato, essendo in questo studio tarato solo sui principali segmenti stradali senza tenere conto della diffusione di fondo degli inquinanti.

I riscontri di questa indagine hanno confermato come gli effetti negativi del traffico sulla salute delle persone presentino una forte dimensione locale: pur all'interno dell'ambiente relativamente limitato di una singola città, variazioni di volume e composizione del traffico in un'area di pochi km² danno luogo a reazioni significativamente maggiori rispetto alle aree circostanti.

CONCLUSIONI

In questo elaborato sono stati affrontati la natura e gli effetti delle esternalità prodotte dal traffico stradale, in particolare negli ambienti urbani.

Sono state analizzate le esternalità negative generate dal movimento degli autoveicoli, quali la necessità di ampi spazi dedicati alla circolazione e alla sosta, il consumo di risorse economiche collettive, la produzione di inquinamento acustico ed atmosferico, i danni generati dall'incidentalità. Ci si è concentrati sulla definizione più stretta di esternalità, escludendo tutti gli effetti negativi che colpiscono gli utenti degli autoveicoli in quanto parte del *trade-off* con i benefici che gli utenti ricevono dall'uso degli autoveicoli.

Tutti i fenomeni considerati hanno un forte impatto negativo sulla quantificazione e sulla percezione della qualità della propria vita da parte degli individui colpiti.

Sono stati considerati due *case studies* utili a dimostrare i meccanismi d'azione delle esternalità del traffico sulla vita delle persone in un contesto urbano.

L'ambiente urbano è per sua natura un luogo ad alta densità di spostamenti, e in cui le persone sono esposte in maniera continuativa agli effetti della concentrazione di esternalità negative.

Le esperienze considerate illustrano come le esternalità si manifestino tramite dinamiche che sono funzione della densità del traffico, con una correlazione diretta tra la loro concentrazione locale e la riduzione di qualità della vita.

La dimostrazione dell'esistenza di un legame diretto fra il traffico stradale e la diminuzione dell'aspettativa e di qualità della vita sottolinea l'intrinseca incompatibilità di questa forma di mobilità con l'ambiente urbano. Questo è particolarmente vero nei contesti urbanistici dei centri europei, i cui spazi sono stati definiti sulla base di abitudini di mobilità completamente diverse.

Eppure, nonostante una ricca e ormai lunga produzione di ricerca che dimostra la dannosità del fenomeno, la resistenza culturale al cambiamento resta ancora forte. In parte ciò è dovuto alla tendenza delle esternalità a manifestarsi con ritardo rispetto alla loro produzione, facendo apparire il tema come poco urgente e quindi non meritevole di attenzione immediata. Altro importante fattore è che i residenti vittime delle esternalità sono spesso a loro volta guidatori, che generano le stesse esternalità ma in ambienti diversi dalla propria residenza, e quindi al di fuori del proprio *trade-off*, salvo poi subire gli effetti dei *trade-offs* dei loro pari.

La mobilità privata basata sull'automobile è, in definitiva, un sistema basato sul *moral hazard*, in cui però tutti i partecipanti subiscono e insieme generano gli effetti negativi del medesimo comportamento.

Ritengo che, per meglio sfruttare l'impegno scientifico verso la risoluzione del problema, questo vada indirizzato nel senso dimostrato dalle ricerche presentate: spiegando e dimostrando che gli effetti del traffico sono molto più vicini di quanto si pensi. Il miglior metodo per spezzare il circolo vizioso del *moral hazard* è dimostrare che nel gioco del traffico non ci sono vincitori.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, T. e SALLEE, J., 2016. Designing policies to make cars greener: a review of the literature. *Annual Review of Resource Economics*, 8, 157-180.

ARNOTT, R. e SMALL, K., 1994. The Economics of Traffic Congestion. *American Scientist*, 82, 446-455.

BERGER, J. e DENBY, B., 2011. A generalised model for traffic induced road dust emissions. Model description and evaluation. *Atmospheric Environment*, 45, 3692-3703.

BOOGAARD, H. et al., 2012. Impact of low emission zones and local traffic policies on ambient air pollution concentrations. *Science of the Total Environment*, vols 435-436, 132-140.

BRUGGE, D., DURANT, J. e RIOUX, C., 2007. Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: A review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks. *Environmental Health*, 6 (23).

CARLTON, D. e LOURY, G., 1980. The Limitations of Pigouvian Taxes as a Long-Run Remedy for Externalities. *The Quarterly Journal of Economics*, 95 (3), 559-566.

CASCONI, A. et al., 2007. Optimization of traffic on road networks. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 17 (10), 1587-1617.

CERVERO, R. e HANSEN, M., 2000. Road Supply-Demand Relationships: Sorting Out Causal Linkages. *University of California Transportation Center Working Papers*, 444.

CESARONI, G. et al., 2012. Health benefits of traffic-related air pollution reduction in different socioeconomic groups: the effect of low-emission zoning in Rome. *Occupational and Environmental Medicine*, 69, 133-139.

D'ALESSANDRO, F. e SCHIAVONI, S., 2015. A review and comparative analysis of European priority indices for noise action plans. *Science of the Total Environment*, 518-519, 290-301.

DATLA, S. e SHARMA, S., 2007. Highway Traffic Volume Variations with Cold and Snow Interactions. *2007 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, "Innovation in Traffic Operations and Management"*. Saskatoon, Saskatchewan, 2007.

DE BORGER, B. e PROOST, S., 2013. Traffic externalities in cities: The economics of speed bumps, low emission zones and city bypasses. *Journal of Urban Economics*, 76, 53-70.

DENANT-BOÈMONT, L. e HAMMICHE, S., 2009. Public Transit Capacity and Users' Choice: An Experiment on Downs-Thomson Paradox. *4th Kuhmo-Nectar Conference "Transport and urban economics"*. Copenhagen, Denmark, Jul 2009.

DEN BOER, L.C. e SCHROTEN, A., 2007. *Traffic noise reduction in Europe*. Delft, The Netherlands: CE Delft. Disponibile su http://www.cedelft.eu/publicatie/traffic_noise_reduction_in_europe/821 [Data di accesso: 10/11/2016].

DICKERSON, A., PEIRSON, J. e VICKERMAN, R., 2000. Road Accidents and Traffic Flows: An Econometric Investigation. *Economica*, New Series, 67 (265), 101-121.

DURANTON, G. e TURNER, M., 2011. The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities. *American Economic Review*, 101, 2616-2652.

- FU, W. et al., 2010. Characterizing the “fragmentation–barrier” effect of road networks on landscape connectivity. A case study in Xishuangbanna, Southwest China. *Landscape and Urban Planning*, 95 (3), 122-129.
- FU, W., LIU, S. e DONG, S., 2010. Landscape pattern changes under the disturbance of road networks. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 859-867.
- GARCIA-LÓPEZ, M.-À. e MUÑIZ, I., 2013. Urban spatial structure, agglomeration economies, and economic growth in Barcelona: An intra-metropolitan perspective. *Papers in Regional Science*, 92 (3), 515–534.
- GÖSSLING, S. e CHOI, A., 2015. Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles. *Ecological Economics*, 113, 106-113.
- GRAHAM, D., 2006. Variable returns to agglomeration and the effect of road traffic congestion. *Journal of Urban Economics*, 62, 103-120.
- HAMED, M., AL-MASAEID, H. e BANI SAID, Z., 1995. Short-Term Prediction of Traffic Volume in Urban Arterials. *Journal of Transportation Engineering*, 121 (3), 249-254.
- HARRISON, D. e RUBINFELD, D., 1978. Hedonic Housing Prices and the Demand for Clean Air. *Journal of Environmental Economics and Management*, 5, 81-102.
- HAU, T., 1992. Economic Fundamentals of Road Pricing. *World Bank Working Papers*, WPS 1070.
- HUGHES, W. e SIRMANS, C., 1992. Traffic externalities and single-family house prices. *Journal of Regional Science*, 32 (4), 487-500.
- INT PANIS, L. et al., 2004. An uncertainty analysis of air pollution externalities from road transport in Belgium in 2010. *Science of the Total Environment*, vols 334– 335, 287–298.
- KAUHANIEMI, M. et al., 2011. Evaluation of a road dust suspension model for predicting the concentrations of PM in a street canyon. *Atmospheric Environment*, 45, 3646-3654.

KNOSPE, W. et al., 2001. Human behavior as origin of traffic phases. *Physical Review E*, 65 (1), 0151011-0151014.

KOPSCH, F., 2016. The cost of aircraft noise e Does it differ from road noise? A meta-analysis. *Journal of Air Transport Management*, 57, 138-142.

KOSTER, P. e RIETVELD, P., 2011. Optimising Incident Management on the Road. *Journal of Transport Economics and Policy*, 45 (1), 63-81.

JIANG, F., et al., 2007. Measuring urban sprawl in Beijing with geo-spatial indices. *Journal of Geographical Sciences*, 17 (4), 469-478.

JOCHEM, P., DOLL, C. e FITCHNER, W., 2016. External costs of electric vehicles. *Transportation Research Part D*, 42, 60-76.

LIN, Y.C., 2016. The global distribution of the burden of road traffic injuries: Evolution and intra-distribution mobility. *Journal of Transport Geography*, 56, 77-91.

MAYER, C. e SINAI, T., 2002. Network Effects, Congestion Externalities, and Air Traffic Delays: Or Why Not All Delays Are Evil. *The American Economic Review*, 93 (4), 1194-1215.

MUELLER, E., 1970. History of Traffic Signals. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, VT-19 (1), 6-17.

NEGA, T. et al., 2012. An analysis of landscape penetration by road infrastructure and traffic noise. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36 (3), 245-256.

NG, C.F. e SMALL, K., 2012. Tradeoffs among Free-flow Speed, Capacity, Cost, and Environmental Footprint in Highway Design. *Transportation*, 39, 1259-1280.

NUVOLONE, D., BARCHIELLI, A. e FORASTIERE, F., 2009. Valutare l'efficacia degli interventi sulla mobilità urbana ai fini del miglioramento della qualità dell'aria e della salute

dei cittadini: una revisione della letteratura scientifica. *Epidemiologia e Prevenzione*, 33 (3), 79-87.

OSSOKINA, I. e VERWEIJ, G., 2015. Urban traffic externalities: Quasi-experimental evidence from housing prices. *Regional Science and Urban Economics*, 55, 1-13.

POPE, C.A. e DOCKERY, D., 2006. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air e Waste Management Association*, 56 (6), 707-708.

QI, H. et al., 2014. A structural traffic flow model for urban arterial roads. *International Journal of Civil Engineering*, 12 (3), 313-325.

RODRIGUEZ-LOPEZ, J. et al., 2016. Road accidents and business cycles in Spain. *Accident Analysis and Prevention*, 96, 46-55.

SÆLENSMINDE, K., 2004. Cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38 (8), 593-606.

SILVEIRA, C. et al., 2016. Assessment of health benefits related to air quality improvement strategies in urban areas: An Impact Pathway Approach. *Journal of Environmental Management*, 183, 694-702.

SMALL, K. e GOMEZ-IBANEZ, J., 1998. Road Pricing for Congestion Management: The Transition from Theory to Policy. *University of California Transportation Center, Working Papers*, 391.

STANSFELD, S. e MATHESON, M., 2003. Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68, 243-257.

STREIMIKIENE, D., 2015. Quality of Life and Housing. *International Journal of Information and Education Technology*, 5 (2), 140-145.

STURGEON, T. et al., 2009. Globalisation of the automotive industry: main features and trends. *Int. J. Technological Learning, Innovation and Development*, 2 (1/2), 7-24.

TILLEMA, G., 2009. *Do drivers care about the harm they cause?: a stated preference experiment to determine how drivers value their contribution to air pollution, noise and safety*. Master of Science thesis, University of Twente, Faculty of Engineering Technology.

TO, W.M. et al., 2002. A multiple regression model for urban traffic noise in Hong Kong. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112 (2), 551-556.

VAN ESSEN, H. et al., 2011. *External Costs of Transport in Europe*. Delft, The Netherlands: CE Delft. Disponibile su http://www.cedelft.eu/publicatie/external_costs_of_transport_in_europe/1258 [Data di accesso: 13/11/2016].

VAN DER SCHOT, J. et al., 2003. *Tunnels in Nederland, een nieuwe generatie*, Utrecht: Bouwdienst Rijkswaterstaat.

VAN PRAAG, B. e BAARSMA, B., 2004. Using Happiness Surveys to Value Intangibles: The Case of Airport Noise. *The Economic Journal*, 115 (500), 224-246.

WEISBROD, G., VARY, D. e TREYZ, G., 2003. Measuring the Economic Costs of Urban Traffic Congestion to Business. *Transportation Research Record*, 1839, 98-106.

WINTERS, J., 2013. Differences in Quality of Life Estimates Using Rents and Home Values. *The Annals of Regional Science*, 51 (2), 377-409.